

Effet de l'irrigation déficitaire contrôlée sur la productivité et l'efficience d'utilisation de l'eau du palmier dattier cv Majhoul

A. SABRI¹, A. BOUAZIZ², A. HAMMANI², M. KUPER^{2,3}, A. DOUAÏK¹, M. BADRAOUI^{1,2}

(Reçu le 12/11/2016; Accepté le 06/12/2016)

Résumé

Afin de tester l'efficacité de l'irrigation déficitaire contrôlée sur la productivité du palmier dattier cv Majhoul, une expérimentation a été conduite pendant deux années consécutives (Mars 2012-Février 2014). Sept régimes hydriques localisés ont été appliqués: régime agriculteur (T0), 100% (T1); 80% (T2); 60% (T3); 80-100-60% (T4); 150% (T5) et 60-100-80% (T6) ETM. Les mesures ont porté sur le suivi des paramètres météorologiques, les apports d'eau et l'évolution des rendements en dattes de la variété Majhoul. Les résultats obtenus montrent que: i. Le régime hydrique a affecté significativement les rendements moyens et les efficacités de l'utilisation de l'eau, ii. Les apports en eau d'irrigation sont en moyenne de 51 m³/pied/an, et iii. Les rendements moyens en dattes et les efficacités de l'utilisation de l'eau ont varié entre 31 et 61 kg de dattes/pied/an et entre 0,44 et 1,36 kg de dattes/m³.

Mots-clés: Irrigation déficitaire contrôlée, palmier dattier, Majhoul, efficience de l'utilisation de l'eau.

Abstract

To test the effect of regulated deficit irrigation on the productivity of date palm cv Majhoul, an experiment was conducted for two consecutive years (March 2012-February 2014). During these times, seven water regimes were applied under drip irrigation: farmer regime (T0), 100% (T1), 80% (T2), 60% (T3), 80-100-60% (T4), 150% (T5) and 60-100-80% (T6) ETM. The measures focused on the monitoring of meteorological parameters, the water irrigation and the evolution of date yields of Majhoul variety. The results obtained show that: i. Water regime has significantly affected the average yields and water use efficiency, ii. Water irrigation needs are, on average, 51 m³/tree/year, and iii. Average date yields and water use efficiencies varied between 31 and 61 kg of dates/tree/year and between 0.44 and 1.36 kg of dates/m³.

Keywords: Regulated deficit irrigation, date palm, Majhoul, water use efficiency.

INTRODUCTION

Les oasis du Tafilalet, considérées parmi les plus grandes zones phoenicoles nationales, abritent environ 1.6 millions de palmiers, soit 39% de l'effectif national (MAPM, 2014a). Grâce à ces potentialités en matière de biodiversité génétique et ressources hydrologiques, le Maroc a mis beaucoup d'espoir sur ces zones pour le développement de la filière dattière par la création de nouvelles palmeraies à l'extérieur des oasis traditionnelles (Anonyme, 2010). La majorité des terrains susceptibles d'abriter ces nouvelles plantations du palmier dattier se situent au niveau de l'axe entre Meski (20 km d'Errachidia) et Boudnib (90 km d'Errachidia) de part et d'autre de la route nationale N° 10.

Malgré ces potentialités et les moyens financiers et logistiques que le Maroc a mis en œuvre pour l'accompagnement de ce genre de nouvelles palmeraies prévues dans le cadre du PMV à l'horizon 2020 (subventions, incitations), ce nouveau système de culture reste un écosystème fragile et confronté à plusieurs contraintes. Au cœur de ces contraintes, on trouve essentiellement les problèmes liés au changement climatique, à la dépendance quasi-totale des ressources

souterraines pour la satisfaction des besoins hydriques des nouvelles plantations et à l'insuffisance des connaissances concernant le profil variétal des nouvelles palmeraies, notamment les études portant sur le comportement de ce matériel végétal vis-à-vis du stress hydrique.

D'après certaines études relatives aux impacts des changements climatiques sur les oasis d'une manière générale et sur le Tafilalet d'une manière spéciale, le Tafilalet est considérée une zone à risque (Ben Salim, 2014). Ainsi, il existe un consensus relatif aux différents scénarios produits d'ici jusqu'à l'an 2050 qui montrent que le régime pluviométrique tendra vers la baisse tandis que les températures et l'évaporation connaîtront une certaine augmentation. Cette situation nécessite l'élaboration et la mise en place de stratégies d'adaptation concrétisées par des plans d'actions spécifiques, dans la perspective de l'émergence d'une vision concertée et partagée pour une meilleure résilience des oasis face aux changements climatiques.

Les ressources hydriques de la zone sont parmi les plus touchées par les changements climatiques. En effet, l'aridité du climat de Tafilalet, caractérisée par des précipitations

¹ Institut National de la Recherche Agronomique, Rabat, Maroc. E-mail: sabri_inra2004@yahoo.fr

² Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

³ CIRAD, Montpellier, France

faibles et irrégulières dans le temps et dans l'espace, rend toute activité agricole impossible sans irrigation et engendre ainsi la dépendance quasi-totale des eaux souterraines qui constituent la principale ressource d'alimentation hydrique des plantations créées à l'extérieur des oasis traditionnelles.

La structure variétale des nouvelles palmeraies, dominée par le Majhoul, pourrait constituer une contrainte à long terme. Le Majhoul est une variété noble très connue à l'échelle internationale grâce à son excellente valeur marchande (Sedra, 2003 et 2012). Il occupe une place privilégiée au sein du patrimoine variétal national, surtout avec la plantation des 2.9 millions de plants à l'horizon 2020, dont le Majhoul constituera 67% du dit programme (MAPM, 2014b). La meilleure connaissance de cette variété est devenue obligatoire pour assurer une bonne gestion et une conduite permettant la continuité et la régularité des productions.

Cependant, les études concernant le Majhoul sont limitées et ont concerné surtout la caractérisation de la datte au stade Tamar (Sedra, 2001), le comportement de cette variété vis-à-vis de la salinité (Triper et al., 2011), l'effet de certaines techniques culturales sur la qualité des dattes (Cohen et al., 2010) et les études de post-récolte notamment l'impact du stockage à long terme sur la qualité des dattes (Borochov-Neori et al., 2010; Lustig et al., 2014). Ainsi, on note la rareté des références bibliographiques qui traitent des aspects relatifs à la conduite technique de cette variété à savoir l'irrigation, la fertilisation, le comportement vis-à-vis du manque d'eau et du stress hydrique et les scénarios potentiels qui pourraient se produire avec les impacts des changements climatiques au niveau des régions qui abritent des effectifs importants de cette variété.

La présente étude vise essentiellement à: i) évaluer expérimentalement l'effet du stress hydrique contrôlé sur le rendement en dattes et sur la valorisation de l'eau par le Majhoul, et ii) sélectionner le(s) régime(s) hydrique(s) performant permettant une meilleure valorisation de la ressource hydrique.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Site de réalisation de l'essai

L'expérimentation a été réalisée pendant deux années consécutives (mars 2012-février 2014), au sein d'une exploitation privée de 14 hectares, située à 5km de Goulmima, province d'Errachidia (longitude 4°54'37.27"

Ouest, latitude 31°41'10,59" Nord et altitude de 1002 m). Le climat est de type présaharien aride, caractérisé par un été très chaud et un hiver froid. La température maximale est de 43°C et la température minimale est de -3°C. Les pluviométries sont faibles et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Elles varient entre 11 et 293 mm/an avec une moyenne de 116 mm/an durant une période de 32 ans, allant de 1979/80 jusqu'à 2010/2011 (ORMVA/TF, 2012).

Cultivar utilisé

La variété choisie est le Majhoul, âgée de douze ans. Cette variété de palmier dattier se caractérise essentiellement par sa notoriété mondiale exprimée par le gros calibre de son fruit et son excellente qualité dattière engendrant une meilleure valeur ajoutée commerciale.

Les palmiers dattiers, mis en essai, ont été plantés en 2000 à une densité de 156 pieds/ha (8m x 8m). Ils ont actuellement des stipes d'une hauteur moyenne de 2 m et sont dépourvus de tout signe de carence ou maladie. La superficie réservée à cet essai est d'environ un hectare, y compris les bordures et les servitudes.

Protocole expérimental

Les 84 palmiers dattiers, mis en essai, sont répartis en 21 unités expérimentales suivant un dispositif en blocs aléatoires complets avec trois répétitions de sept traitements. Chaque douze arbres ont été soumis à un régime hydrique variant entre 60 et 150% ETM conformément au tableau 1.

Le découpage en trois périodes distinctes est raisonné conformément aux phases du cycle végétatif du palmier dattier. La première de novembre à février, juste après la récolte où la plante passe par une période de repos végétatif hivernal; la seconde de mars à juin, où il y a la pollinisation, la croissance et le grossissement des fruits et la croissance active du palmier dattier, et la dernière de juillet à octobre, correspond aux phases fin grossissement des fruits, de croissance active du palmier dattier et de maturation des fruits avant la récolte.

L'irrigation est assurée par le système goutte à goutte de type circulaire, comprenant des goutteurs boutons, débitant 25 l/h et espacés entre eux de 150 cm. Chaque pied est équipé de 6 goutteurs permettant un débit fictif d'environ 150 l/h.

Tableau 1: Signification des régimes hydriques étudiés

Traitements		Phase I (Novembre à février)	Phase II (Mars à juin)	Phase III (Juillet à octobre)
T_0	Tag	Régime agriculteur	Régime agriculteur	Régime agriculteur
T_1	$T_{100-100-100}$	100% ETM	100% ETM	100% ETM
T_2	$T_{80-80-80}$	80% ETM	80% ETM	80% ETM
T_3	$T_{60-60-60}$	60% ETM	60% ETM	60% ETM
T_4	$T_{80-100-60}$	80% ETM	100% ETM	60% ETM
T_5	$T_{150-150-150}$	150% ETM	150% ETM	150% ETM
T_6	$T_{60-100-80}$	60% ETM	100% ETM	80% ETM

ETM: Evapotranspiration maximale.

Estimation des besoins en eau d'irrigation

Le calcul de l'évapotranspiration de référence ET_0 a été effectué selon la formule de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) en utilisant les paramètres météorologiques de la station agro-météorologique *in-situ*.

L'évaluation des besoins en eau du palmier (en l/arbre/j) est donnée par la formule suivante (Gafar, 2010; Ismail et al., 2014).

$$ETM = ET_0 \times K_c \times S_a$$

Sa correspond à l'aire active de l'évapotranspiration du palmier, elle est obtenue suivant la formule ci-après où le rayon actif (R_a) est égal à 90% du rayon de la surface de la projection verticale de la frondaison.

$$S_a = (R_a)^2 \times \pi$$

Choix des coefficients culturaux

Les coefficients culturaux K_c utilisés sont les K_c de la FAO rapportés par Liebenberg et Zaid (2002) et qui ont été utilisés à Naute en Namibie. Ces coefficients culturaux ont varié entre 0,8 et 1 en fonction des phases de cycle de vie annuel du palmier dattier.

Détermination des besoins bruts d'irrigation

Les besoins nets (B_n) et bruts (B_b) en eau d'irrigation sont donnés par les équations suivantes, où LR est la dose de lessivage et E_a représente l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle.

$$B_n(l/plant/j) = \frac{ETM(l/plant/j)}{1-LR}$$

$$B_b(l/plant/j) = \frac{B_n(l/plant/j)}{E_a}$$

Paramètres observés

Pour évaluer l'effet du régime hydrique sur la valorisation de l'eau par la variété Majhoul, le contrôle et le suivi du sol et de la végétation ont concerné le bilan des apports d'eau d'irrigation par période et par an, les rendements des dattes et l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

La détermination du rendement unitaire (en kg/arbre) est basée sur la connaissance des trois éléments suivants: le nombre total de régimes par pied, le nombre total de fruits par régime au stade Tamar et le poids moyen des dattes par régime au même stade. Le rendement (Rdt) est donné par la formule ci-dessous, où NTDRi est le nombre total de dattes par régime i et PMDRi représente le poids moyen de dattes de même régime i.

$$Rdt = \sum NTDRi \times PMDRi$$

L'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation (EUE) a été évaluée selon la formule ci-dessous, dont Rdt est le rendement en dattes exprimé en kg/pied et Q représente la quantité annuelle de l'eau d'irrigation apportée (m^3) (Bouaziz et Belabbès, 2002; Kambou et al., 2014).

$$EUE(Kg/m^3) = \frac{Rdt}{Q}$$

Analyses statistiques

Le dépouillement des données des variables mesurées ainsi que le calcul des moyennes et la conception des graphiques ont été réalisés à l'aide du tableur «EXCEL». L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée en utilisant la procédure GLM du logiciel statistique SAS. Deux facteurs de classification ont été utilisés, la dose d'irrigation et la période. Chaque fois que l'effet de l'un de ces facteurs ou leurs interactions s'est montré significatif, on a procédé à une comparaison multiple des moyennes à l'aide des tests de Duncan et de Dunnett au seuil de 0,05.

Tableau 2: Évolution des besoins en eau du Majhoul (100%ETM)

Année	Période	BE (m ³ /arbre)	Total BE (m ³ /ha)	Précipitation (mm)	ET ₀ (mm)
Première Année	Mars – Juin 2012	20,92	3264	23,00	579,10
	Juillet – Octobre 2012	21,37	3334	43,40	623,00
	Nov 2012 – Février 2013	6,40	998	16,20	212,60
	Total	48,69	7596	82,60	1 414,70
Deuxième année	Mars – Juin 2013	24,00	3744	23,80	664,70
	Juillet – Octobre 2013	22,19	3462	15,00	649,20
	Nov 2013 – Février 2014	6,00	936	17,20	199,00
	Total	52,19	8142	56,00	1 512,90
Moyenne des 2 années	Mars – Juin	22,46	3504	23,40	621,90
	Juillet – Octobre	21,78	3398	29,20	636,10
	Novembre – Février	6,20	967	16,70	205,80
	Total	50,44	7 869	69,30	1 463,80

BEI: Besoins en eau, ET₀: Evapotranspiration de référence.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Évolution besoins en eau d'irrigation du palmier dattier

Évaluation des besoins en eau du palmier dattier

Comme le montre le tableau 2, le total des précipitations enregistrées durant la période de l'essai est faible, soit une moyenne annuelle de 70 mm/an, soit l'équivalent journalier de l'ordre de 0,2 mm/j. Ceci prouve davantage l'aridité du climat. En outre, le niveau piézométrique de la nappe phréatique, situé à 15 m de profondeur, limite la contribution directe de la nappe à la satisfaction des besoins en eau du palmier. Ainsi, le palmier dattier cultivé dans ce genre de conditions dépend en quasi-totalité des prélèvements des eaux de la nappe à travers le pompage. Ceci nécessite la conscience et la vigilance pour la mise en place de mesures d'accompagnement permettant l'économie et la rationalisation de l'eau d'irrigation.

Le volume total des apports d'eau correspondant aux besoins en eau du palmier dattier varie entre 48 et 52 m³/arbre/an, avec une moyenne de 50,44 m³/arbre/an, soit un besoin annuel moyen par hectare de l'ordre 7870 m³/ha/an. La répartition mensuelle de ces besoins montre que la part de cinq mois (avril - août) constitue environ 65% de ces besoins. En effet, les consommations mensuelles du Majhoul varient en moyenne entre 1,04 et 7,50 m³/arbre/mois, enregistrées respectivement pendant décembre et juillet. Généralement, lors de la période de fructification qui s'étale entre les mois de mars et d'octobre, les besoins du palmier représentent 88% de ses demandes hydriques annuelles (Tableau 2 et Figure 1).

La consommation moyenne engendrée durant ces essais (50,44 m³/arbre/an), constitue la plus basse référence, excepté celle citée par Ismail et al., (2014) qui était de 34

m³/arbre/an sous les conditions de la partie occidentale de l'Arabie Saoudite. Elle constitue la plus basse à l'échelle régionale qui dépasse souvent les 70 m³/an/arbre. A titre d'exemple ou d'illustration, ce paramètre est de l'ordre de 70 m³/ha/arbre aux Emirats Arabes Unis (Gafar, 2010), entre 59,4 et 108 m³/ha/arbre en Arabie Saoudite (Al-Amoud et al., 2012; Kassem, 2007).

Au Maroc, Renevot et al., (2009) ont rapporté, dans une étude faite au niveau du Tafilalet, que les doses apportées par les agriculteurs varient entre 1660 et 2256 mm/an/ha suivant la disponibilité en eau, les techniques utilisées et le système de culture pratiqué. Aussi, la consommation annuelle moyenne du palmier dattier, irrigué par le goutte à goutte, a été évaluée à 60 m³/an/arbre (Sabri et al., 2012). Ce dernier résultat est le fruit des travaux d'évaluation des besoins en eau de la variété Sailayallat conduits au Domaine expérimental de l'INRA à Zagora, sur une durée de cinq ans (2008-2012).

Les 50,44 m³/pied/an représentent 72,38% des apports de l'agriculteur qui étaient de l'ordre de 69,69 m³/pied/an, soit un gain moyen de 19,25 m³/pied/an, équivalent à 3000 m³/ha/an. Suivant la figure 1, à l'exception de mars et avril où les besoins du palmier dattier dépassent les apports d'eau, durant les autres mois, l'agriculteur sur-irrigue en enregistrant des surplus variant entre moins d'un mètre cube à plus de 5 m³/arbre/mois. Ceci implique que la répartition régulière de l'eau d'irrigation suivant les besoins requis (100% ETM) permet de conserver environ 38% de la ressource hydrique.

Évaluation des consommations conformément aux régimes appliqués

L'application des régimes hydriques, décrits au niveau de la méthodologie (paragraphe 2.3), a permis de totaliser les volumes d'eau apportés durant la conduite de

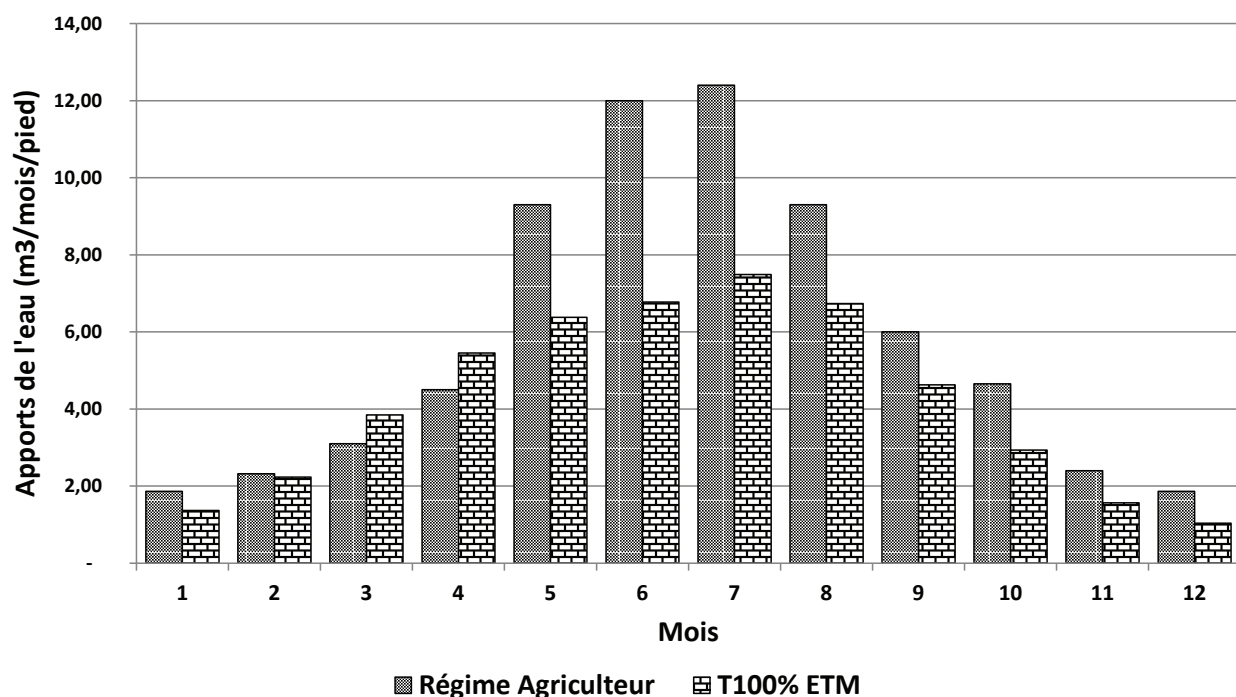


Figure 1: Évolution mensuelle des apports de l'eau d'irrigation durant une année moyenne (m³/pied/mois)

l'expérimentation. Le tableau 3 fait ressortir les volumes totaux apportés par traitement et par année. Ces volumes ont varié entre 29 et 73 m³/arbre en 2012 et entre 31 et 78 m³/arbre/an en deuxième année. La moyenne, toutes années confondues, varie entre 30,26 et 75,66 m³/pied/an.

L'analyse critique des résultats objet du tableau 3 permet de dégager les renseignements suivants:

Les régimes hydriques T2, T3, T4 et T6, suivant leur degré du stress hydrique saisonnier ou permanent, permettent la conservation de l'eau d'irrigation qui a varié entre 14 à 40%. Quantitativement, ces indicateurs signifient que les volumes conservés peuvent atteindre 20 m³/arbre/an correspondant à plus de 3000 m³/ha/an.

Compte tenu du même degré de stress appliqué et en se basant sur les volumes annuels apportés, ces régimes hydriques peuvent être répartis en trois groupes homogènes, le premier groupe contient le T6 qui a assuré une conservation d'environ 14%, le second groupe comporte les traitements T4 et T2 qui ont engendré une économie de l'ordre de 20% et le troisième groupe comprend le traitement le plus stressé (T3) qui a épargné 40% de l'eau d'irrigation.

Comparativement au régime agriculteur et à l'exception du T5, tous les traitements étudiés ont réalisé des économies d'eau qui ont varié en moyenne entre 19 et 39 m³/arbre/an. A l'échelle de l'hectare, ces indicateurs pourraient atteindre plus de 6000 m³/ha/an.

Évolution des paramètres du rendement

Impact du régime hydrique sur le poids moyen des régimes des dattes

Sans exception, le poids moyen du régime des dattes obtenu en 2012 est relativement supérieur à celui de l'année 2013 (Figure 2). Une diminution de l'ordre de 5 à 10% a été enregistrée suivant les traitements. Aussi, la variabilité au sein de chaque échantillon est faible. Elle est minimale au niveau des palmiers les plus stressés (T3), soit une moyenne inférieure à 0,5 kg/régime/arbre/an, moyenne pour les traitements T1 et T2 en variant entre 0,5 et 1kg/régime/arbre/an et maximale chez les arbres sous régimes hydriques T4 à T6 où cet indicateur a dépassé généralement 1 kg/régime/arbre/an. Cette faible variation annuelle constatée est due essentiellement aux

Tableau 3: Bilan des apports de l'eau (m³/pied/an)

Traitements	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	Moyenne des 2 années
T0	69,61	69,61	69,61
T1	48,69	52,19	50,44
T2	38,95	41,75	40,35
T3	29,21	31,31	30,26
T4	38,86	42,12	40,49
T5	73,03	78,29	75,66
T6	41,85	45,35	43,60

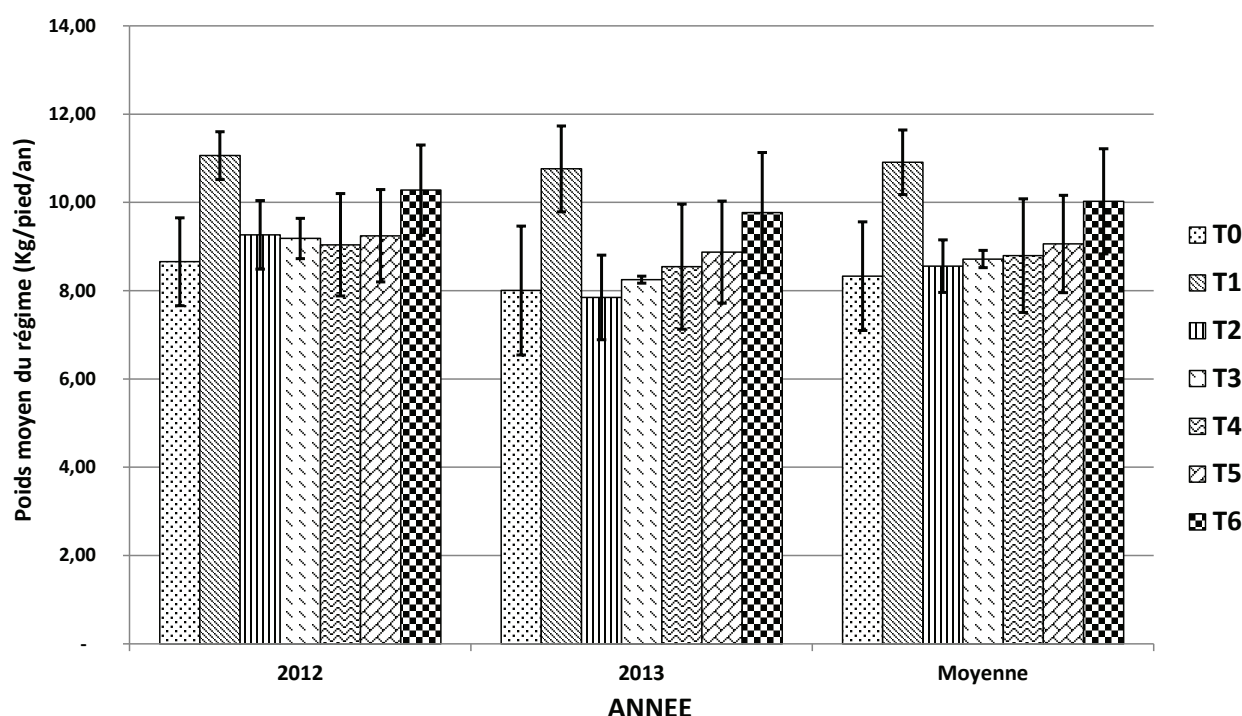


Figure 2: Impact du régime hydrique sur l'évolution annuelle du poids moyen des régimes de dattes (Kg/régime/arbre/an), les barres représentent les écarts moyens

pratiques de ciselage opérées vers la fin des deux mois après la pollinisation. Ces opérations culturales permettent la régularisation de la charge de chaque régime en éliminant une partie des fruits pour éviter la compétition et favoriser ainsi le grossissement des fruits laissés. Aussi, le nombre de régimes réduit implique davantage moins de compétition sur les éléments assimilés (sève élaborée).

En effet, le rapport entre le nombre de palmes actives et le nombre de régimes produits en 2012 était entre 13 et 20 palmes/régime, soit une moyenne de 15 palmes/régime. Ce paramètre en 2013 a régressé pour atteindre une moyenne de l'ordre de 11 palmes/régime en variant entre 9 et 14 palmes/régime. Certains auteurs rapportent qu'au moins huit feuilles actives sont nécessaires pour assurer une alimentation normale des fruits en éléments synthétiques (assimilats) (Sedra, 2003 et 2012; Zirari, 2010).

Évolution des rendements moyens des dattes

Le rendement moyen obtenu au cours de la première année est inférieur à celui de la deuxième année (Tableau 4). Toutefois, la variabilité intra-annuelle et interannuelle des rendements, même au sein de chaque échantillon, est très importante. Ceci est dû, d'une part, au phénomène de l'alternance couramment rencontré chez le palmier et qui constitue un des problèmes majeurs de la phœniciculture (Munier, 1973; Sedra, 2003 et 2012) et, d'autre part, il pourrait être lié aux durées du cycle de fructification enregistrées. En effet, en 2012, nous avons remarqué que la période de pollinisation a été décalée de 20 jours comparativement à 2013. Aussi, les températures enregistrées lors de mai à septembre 2012 sont supérieures celles connues pendant la même période en 2013. Ceci

s'est répercuté sur la satisfaction des besoins thermiques en durée moindre qui a influencé négativement sur les phases du cycle de croissance des fruits et sur l'accumulation des assimilats.

L'analyse statistique relative à ces paramètres, à un seuil de probabilité de 5%, a détecté des différences significatives entre les traitements. Ainsi, le test de Dunnett, au même seuil de probabilité, a montré que seul le rendement moyen du T_0 est significativement différent du T_1 .

Les rendements moyens obtenus (excepté celui du T_0) sont tous supérieurs à ceux rapportés par Mazahrih et al., (2012).

Malgré la non-signification des différences entre le témoin (T_1) et les autres traitements (T_2 , T_3 , T_4 , T_5 et T_6) selon le test de Dunnett ($p < 0,05$), nous avons constaté des réductions de rendement moyen de l'ordre de 35,1%, 28,5%, 26,4%, 24,9% et 2,4%, respectivement pour les traitements T_3 , T_4 , T_5 , T_2 et T_6 .

Impact du régime hydrique sur la valorisation de l'eau d'irrigation

Évolution de l'efficience de l'utilisation de l'eau d'irrigation

Comme bien illustré au niveau du tableau 5, la variabilité intra-annuelle et interannuelle du rendement et de l'EUE, même au sein de chaque échantillon, est très importante. Ce qui explique l'impact de l'alternance sur l'évolution de ce paramètre. Globalement, l'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) obtenue durant la première année est relativement inférieure à celle de la deuxième année. Ainsi, les mêmes constatations citées au niveau du

Tableau 4: Évolution du rendement moyen des dattes (kg/an /pied)

Traitements	2012	2013	Moyenne
T0	28,9	32,3	30,6 c ⁽¹⁾
T1	44,3	76,9	60,6 a
T2	39,0	51,9	45,5 abc
T3	40,2	38,5	39,3 bc
T4	28,3	58,4	43,4 abc
T5	37,1	52,2	44,6 abc
T6	50,6	67,8	59,2 ab
TD/T1	NS	NS	*

⁽¹⁾ La même lettre dans la même colonne indique la non-signification des différences entre les traitements selon le test de Duncan.
TD/T1: Test de Dunnett en prenant T1 comme référence (NS: non significatif, *: significatif).

Tableau 5: Efficience de l'utilisation de l'eau d'irrigation (EUE)

Traitements	2012	2013	Moyenne
T0	0,42 d	0,46 b	0,44 b ⁽¹⁾
T1	0,91 abcd	1,47 ab	1,20 a
T2	1,00 abc	1,24 ab	1,13 a
T3	1,38 a	1,23 ab	1,30 a
T4	0,67 bcd	1,30 ab	1,07 a
T5	0,51 cd	0,67 ab	0,59 b*
T6	1,21 ab	1,49 a	1,36 a
TD/T1	NS	NS	*

⁽¹⁾ La même lettre dans la même colonne indique la non-signification des différences entre les traitements selon le test de Duncan.
TD/T1: Test de Dunnett en prenant T1 comme référence (NS: non significatif, *: significatif).

paragraphe relatif aux rendements sont valables aussi dans le cas de l'EUE. Afin d'éviter l'effet de ce nouveau facteur, la moyenne des résultats des deux années a été utilisée pour quantifier l'effet du régime hydrique sur l'EUE.

Les palmiers du Majhoul, mis sous différents régimes hydriques, ont manifesté différemment vis à vis du stress hydrique. D'une manière générale, lorsque le déficit hydrique augmente l'EUE augmente; toutefois, cette tendance n'est pas proportionnelle au ratio de restriction de l'eau.

L'EUE est optimale pour les palmiers modérément stressés (T6) et les plus stressés (T3), moyenne pour le stress à seuil de 20% (T2 et T4) et faible pour les palmiers sous les conditions d'excès d'eau. En termes de classement par ordre décroissant, l'EUE est de 1,36; 1,30; 1,20; 1,13; 1,07; 0,59 et 0,44 Kg de dattes/m³/pied/an, respectivement pour les traitements T6, T3, T1, T2, T4, T5 et T0.

Le déficit hydrique modéré, au seuil de 20% ETM durant l'été (juillet-octobre) et 40% ETM durant l'hiver, a amélioré l'EUE et a permis, par conséquent, la conservation de 14% de l'eau d'irrigation comparativement au T1. La stratégie du stress hydrique contrôlé contribue à la rationalisation de l'eau et à la durabilité des oasis.

Par contre, la satisfaction de 60% des besoins en eau du palmier (stress hydrique contrôlé au seuil de 40% ETM) durant tout le cycle ou pendant l'été a affecté le rendement, sans engendrer des différences significatives détectées par les méthodes statistiques. Ceci implique que cette alternative pourrait être appliquée, notamment en cas de pénurie de l'eau d'irrigation tout en réalisant une économie de l'eau d'environ 40%.

Selon le test de Dunnett, au seuil de probabilité de 5%, l'EUE du régime hydrique T1 est significativement supérieure à celle de T0 et T5.

L'analyse statistique relative à l'EUE, à un seuil de probabilité de 5%, a détecté des différences significatives entre les traitements. Ainsi, le test de Dunnett, au même seuil de probabilité, a montré que l'EUE moyenne du régime hydrique T1 est significativement supérieure à celle des T0 et T5.

Impact du stress hydrique sur la valorisation de l'eau

Le meilleur régime hydrique qui valorise mieux l'eau d'irrigation serait celui qui maximise à la fois le rendement en dattes et l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation quelle que soit le moment d'application.

De ce fait, le calcul de ce paramètre a été établi en considérant les deux années de conduite de l'essai. Ceci permet de mettre en relief la réponse du Majhoul en évaluant le comportement et les performances réelles de cette variété vis-à-vis du stress hydrique du plus faible au plus intense. Pour tenir compte de la variabilité des rendements d'une année à l'autre et d'un pied à l'autre, nous avons considéré les moyennes sur l'ensemble des rendements obtenus.

Les résultats, objet de la figure 3, montrent que les palmiers mis sous différents régimes hydriques correspondant aux différents seuils du stress hydrique ont utilisé de l'eau d'irrigation de manières différentes selon le degré de stress appliqué. En effet, l'application des stress allant jusqu'à 40% de stress soit saisonnier ou continu, a permis une certaine amélioration de l'efficacité de l'utilisation de

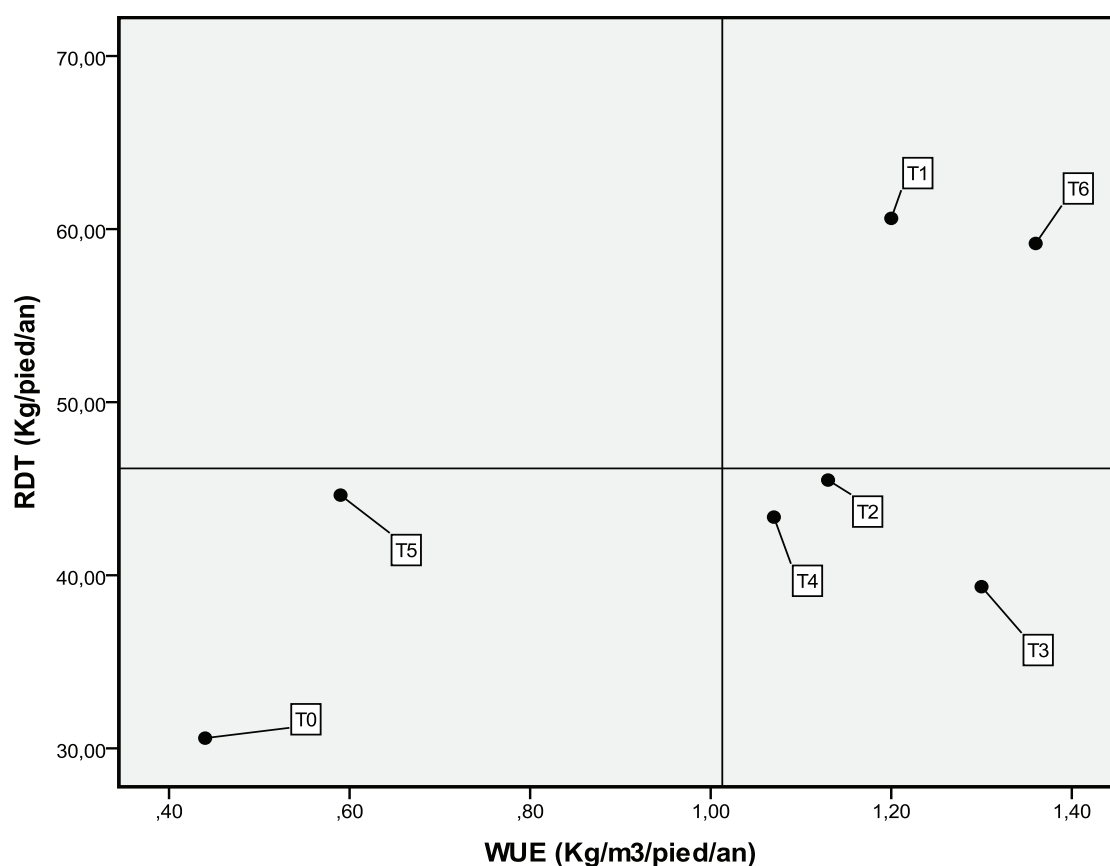


Figure 3: Efficacité de l'utilisation de l'eau et rendements moyens obtenus (régime hydrique/an)

l'eau d'irrigation. Toutefois, l'association de ce paramètre au rendement obtenu, et le traitement de l'ensemble sous forme d'une matrice, nous a permis de mieux évaluer les différences entre les traitements appliqués.

L'exploitation des résultats de la figure 3, a permis de répartir les régimes hydriques étudiés en trois groupes distincts. Le groupe le plus performant contient les palmiers sous T1 et T6 qui ont mieux valorisé l'eau d'irrigation avec un meilleur rendement en dattes et une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. Le groupe moyen comprend les traitements T2, T3 et T4 qui ont produit un rendement inférieur au rendement moyen, tous traitements confondus, et ayant des EUE supérieures à l'EUE moyenne tous traitements confondus. Le dernier groupe englobe les traitements T0 et T5 qui ont moins valorisé l'eau d'irrigation, tout en enregistrant les deux indicateurs inférieurs à la moyenne générale.

CONCLUSION

Les principales conclusions de la présente étude peuvent être résumées comme suit:

Les besoins en eau du palmier dattier adulte cv Majhoul dans la région d'Errachidia sont de l'ordre de 51 m³/arbre/an dans les conditions de non stress (régime hydrique favorable).

En termes d'économie et d'efficacité d'utilisation de l'eau, le meilleur régime hydrique correspond à un apport de 60, 100 et 80 % de l'ETM respectivement pour les périodes hivernales, printanière et estivale. Ce traitement (T6) a optimisé l'utilisation de l'eau d'irrigation tout en améliorant le rendement des dattes et en préservant environ 14% de l'eau d'irrigation comparativement au T1.

La satisfaction de 60% des besoins en eau du palmier (stress hydrique contrôlé au seuil de 40% ETM) durant tout le cycle ou pendant l'été a affecté d'une manière non-significative le rendement. Par conséquent, cette alternative pourrait être appliquée, notamment en cas de pénurie de l'eau d'irrigation tout en réalisant une économie d'environ 40%.

La répartition de l'eau d'irrigation le long du cycle est très importante pour réaliser une bonne performance et un meilleur rendement. Le cas des traitements T4 et T6 a très bien illustré cette remarque. En effet, ces deux régimes sont globalement proches mais la répartition et la succession des périodes de stress à différents seuils ont fait la différence.

L'irrigation déficitaire contrôlée permet par conséquent une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation par le palmier dattier. Ainsi, la stratégie du stress hydrique contrôlé contribue à la rationalisation des apports de l'eau et par conséquent à la durabilité des oasis.

Les résultats obtenus sont encourageants et prometteurs et montrent la nécessité de mener:

- Des expérimentations, à moyen et à long termes, sur l'effet du régime hydrique à différents seuils de stress hydrique sur le rendement qualitativement et quantitativement.

- Des études intégrant le déficit hydrique contrôlé et les techniques d'amélioration de la production sont nécessaires afin de mettre en évidence les bons équilibres et combinaisons utiles pour l'optimisation des ressources hydriques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de ce travail tiennent à remercier l'APP, l'INRA et l'IAV Hassan II qui ont, chacun, assuré le financement d'une partie de ce travail. Nos remerciements vont également à la famille Cherouit et à toute personne qui a contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de cette étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. and Smith M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *Irrigation and Drainage Paper 56 UN-FAO*. Rome, Italy. 300 pp.
- Al-Amoud A.I., Mohammad F.S., Saad A.A., and Alabdulkader A.M. (2012). Reference evapotranspiration and date palm water use in the Kingdom of Saudi Arabia. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* 2:156–169.
- Anonyme (2010). Contrat programme relatif au développement de la filière dattière établi entre le gouvernement Marocain et la Fédération interprofessionnelle marocaine des dattes le 27 avril 2010.
- Ben Salim A. (2014). *Vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques dans les oasis de la région de Tafilalet- Maroc*. Thèse Doctorat Es-Science (Option: Science de l'environnement) à l'Université Cadi Ayyad - Faculté des Sciences-Semlalia, Marrakech (Maroc). 205 pp.
- Borochoy-Neori H., Lutzki B., Judeinstein S. and Shomer I. (2010). Seasonal variations in cell membrane properties and long-Term quality preservation of semi-dry 'Medjool' date fruit. Proc. 6th International Postharvest Symposium Eds.: M. Erkan and U. Aksoy. *Acta Horticulturae* 877:195-200.
- Bouaziz A. et Belabbes K., (2002). Efficacité productive de l'eau en irrigué au Maroc. *Revue Homme Terre et Eau* 124: 57-72.
- Cohen Y., Freeman S., Zveibil A., Ben Zvi R., Nakache Y., Biton S. and Soroker V. (2010). Reevaluation of factors affecting bunch drop in date palm. *HortScience* 45:887–893.
- Gafar K.Y. (2010). Besoins en eau du palmier dattier en Emirats Arabes Unis. *The Blessed Tree, Khalifa International Date palm Award* 02: 80-92.
- Ismail S.M., Al-Qurashi A.D. and Awad M.A., (2014). Optimization of irrigation water use, yield, and quality of "Nabbutsaif" date palm under dry land conditions. *Irrigation and Drainage* 63: 29–37.
- Kambou D., Xanthoulis D., Ouattara K. et Degré A. (2014). Concepts d'efficacité et de productivité de l'eau (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 18:108-120.

- Kassem M.A. (2007). Water requirement and crop coefficient of date palm trees «Sukariah CV». *Misr Journal of Agricultural Engineering* 24: 339-359.
- Liebenberg P.J. and Zaid A. (2002). Date palm irrigation, Chapter 7. In: Ed A. Zaid. *Date Palm Cultivation. FAO Plan Production and Protection* Paper No. 156, Rome, Italy.
- Lustig I., Bernstein Z. and Gophen M. (2014). Skin separation in Majhul. *Fruits International Journal of Plant Research* 4: 29-35.
- MAPM (2014a). Palmier dattier. *In Situation de l'agriculture marocaine N° 11, édition de décembre 2014*: 125-128.
- MAPM (2014b). Directives stratégiques pour la filière phoénicole. In http://www.agriculture.gov.ma/sites/default/files/140718-dir_strat_palmier_dattier_vdef-sl.pdf
- Mazahrih N.T.h., Al-Zubi Y., Ghnaim H., Lababdeh L., Ghananeem M. and Ahmadeh H.A. (2012). Determination actual evapotranspiration and crop coefficients of date palm trees (*Phoenix dactylifera*) in the Jordan Valley. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 12: 434-443.
- Munier P. (1973). *Le palmier dattier – techniques agricoles et productions tropicales*. XXIV édition. Maisonneuve et Larousse. 221 pp.
- ORMVA/TF (2012). Monographie de la Subdivision Agricole de Goulmima. In *Monographie des Subdivisions Agricoles de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tafilalet*.
- René G., Bouaziz A., Ruf T. et Raki (2009). Pratiques d'irrigation du palmier dattier dans les systèmes oasiens du Tafilalet, Maroc. *Symposium international «agriculture durable en région Méditerranéenne AGRUMED»* Rabat, Maroc, 14-16 mai 2009.
- Sabri A., Bouaziz A., Hammani A. et Badraoui M. (2012). Economie de l'eau et stratégies d'irrigation du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans le Tafilalet. Sidattes Edition 2012. (Poster).
- Sedra My.H. (2001). *Descripteur du palmier dattier (Phoenix dactylifera L.)*. INRA (Maroc) - Editions 2001. 196 pp
- Sedra My.H. (2003). *Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis du Maroc, techniques phoénicoles et création d'oasis*. INRA (Maroc) - Editions 2003. 266 pp
- Sedra My.H. (2012). *Guide de phœniculteur, mise en place et conduite des vergers phœnicicoles*. INRA (Maroc) – Editions 2012. 311 pp
- Tripler E., Shani U., Mualem Y. and Ben-Gal A. (2011). Long-term growth, water consumption and yield of date palm as a function of salinity. *Agricultural Water Management* 99: 128-134.
- Zirari A. (2010). Effects of Time of Pollination and of Pollen Source on Yield and Fruit Quality of 'Najda' Date Palm Cultivar (*Phoenix dactylifera* L.) under Drâa Valley Conditions in Morocco. In *Proceedings of the 4th International of Date Palm Conference* Eds.: A. Zaid and G.A. Alhadrami. *Acta Horticulturae* 882: 89-94.